

주 제

객관적 음질평가 기법 연구

서울대학교 이신렬, 최낙진, 성평모

차 례

- I. PEAQ(Perceptual Evaluation of Audio Quality) 개발 배경
- II. PEAQ를 이용한 라우드스피커 음질 평가
- III. 실험결과 및 분석
- IV. 결론

요 약

시스템을 설계하고 제작한 후에 그 시스템과 구성 요소가 최종적으로 음질에 미치는 영향을 평가하는 일은 필수적이다. 음질평가 기법은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 사람의 귀로 듣고 평가하는 주관평가 방법이고, 두 번째는 측정 데이터로부터 객관적으로 성능을 평가하는 방법이다. 주관적 음질평가 방법은 사람이 직접 귀로 듣고 평가하는 방법이기 때문에, 여러 가지 불안정한 요소를 안고 있다. 주관 평가자의 신체적·심리적 상태에 따라 평가가 달라질 수 있으며, 개개인에 따라 다른 결과를 내기도 한다. 따라서, 주관평가 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 통계적인 데이터를 얻고 평가자를 올바르게 훈련시켜야 한다. 그러기 위해서는 시간과 비용이 많이 소비된다. 따라서 측정 데이터로부터의 정교한 계산을 통하여 라우드스피커의 음질을 신뢰할만한 수준으로 평가할 수 있다면 신뢰성을 확보할 수 있을 뿐 아니

라 시간 및 비용 절감 효과를 볼 수 있다.

본 연구에서는 측정 데이터로부터 시스템의 음질을 신뢰할만한 수준으로 평가할 수 있는 기법을 새롭게 제안한다. 이것은 ITU-R Recommendation BS. 1387인 PEAQ를 사용하여 라우드스피커의 음질을 평가하는 방법이다.

I. PEAQ(Perceptual Evaluation of Audio Quality) 개발 배경

1994년에 ITU-R은 지각된 오디오 음질의 객관적인 평가기법들을 확인하고 제안하기 시작했다. 위원회는 이 기법들의 응용분야들을 명확하게 밝히고, 현존하는 기법들의 성능을 평가하며, 선택된 방법을 기술하기 위해서 만들어졌다. 현존하는 방법들이 부적절하다고 판단되면, 위원회에서 성능 요구조건을 만족시키는 새로운 방법을 만들어 낼 수도 있었다.

※ LG전자의 후원으로 논문이 작성되었음.

먼저 7개의 모델 제안자로부터 제안서를 받았다. 서로 다른 모델들의 성능을 비교 평가하는 자유경쟁적인 프로세스가 신중히 고려되었다. 중, 상위 음질을 분간할 수 있는 능력이 중요한 관심사였고, 객관적인 음질 측정의 정확성은 오로지 ITU-R Recommendation BS. 1116 [2]의 주관평가 결과만을 따랐다. 초기 데이터베이스(DB1)은 1990년과 1995년 사이에 ITU와 MPEG에서 수행된 주관평가 자료로부터 모아지고 구성되었다. 이 테스트의 결과들은 오디오 코덱에 의해서 처리된 주관평가 점수와 중요한 자료들 모두를 포함하고 있었다. 서로 다른 데이터 세트는 MPEG90, MPEG91, ITU92DI, ITU92CO, 그리고 ITU93이라는 이름으로 구별되었다. DB1은 모든 제안된 모델들의 튜닝을 위해서 넓은 범위의 결합과 다양한 코덱 그리고 직렬 연결된 코덱들을 포함하고 있었다.

또한 알려진 데이터 항목에 너무나 잘 맞춰진 바이어스를 피하기 위해서 평가 프로세스의 중요한 단계에서 완전히 새로운 자료가 요구되었다. 이러한 이유로, BS.1116에 기술된 제안 방법을 사용한 주관평가가 수행되어 두 가지의 새로운 데이터베이스가 만들어졌다. 객관적인 측정법은 방송 환경, 코딩 결합뿐만 아니라 왜곡과 노이즈 같은 전통적인 결합에서 나타나는 어떤 결합도 올바르게 확인할 수 있어야 하기 때문에, 이러한 결합들이 포함되었다. 모델 제안자가 아닌 위원회 구성원들은 이러한 요구에 따라서 1996년에 두 번째 데이터베이스(DB2)를 만들었다. 마찬가지로, 세 번째 데이터베이스(DB3)는 주로 오래된 코덱들 뿐만 아니라 가장 최신의 코덱들로부터의 코딩 결합을 포함해서 만들어졌다.

다양하게 제안된 모델들을 비교하고 평가한 결과, 어떤 하나의 모델도 다른 모든 모델에 비해서 뛰어난 것이 없다고 판단되었다. 모든 제안자들은 경쟁 단계에서 새롭고 개선된 모델의 개발을 위해 서로 협력하

는 단계로 가기로 합의했다.

1. 경쟁 단계

제안된 7개 모델은 DIX, NMR, OASE, PAQM, PERCEVAL, POM 그리고 Toolbox(출판되지 않음)라고 불리는 모델들이다. 이 모델들은 DB2와 DB1 집합을 이용해서 그들의 성능이 평가되었다. 선택된 주관평가 자료는 각국의 국영방송인 SR(스웨덴)과 BBC(영국) 공동의 노력으로 만들어졌다. DB2를 만들기 위해 필요한 주관평가는 노르웨이의 NRK, 덴마크의 DR, 그리고 일본의 NHK에 의해 수행되었다. Deutsche Telekom(독일)사와 Teracom(스웨덴)사는 테스트로부터 얻어진 주관평가 데이터의 통계 분석 자료를 준비했다. 모든 모델에 대한 객관적인 음질 측정은 중립국인 스위스의 Swisscom 사에서 만들었다. 최종적인 비교를 위한 준비에서는, 모델 제안자들이 더 나은 조정을 위해서 DB2의 반을 받았다. 그리고 다시, 주관적인 음질평가 측정이 Swisscom 사에서 이루어졌다.

측정법들의 성능은 Teracom(스웨덴)사 뿐만 아니라 모델 제안자들에 의해서 분석되었다. 제안된 방법들 중 몇몇이 꽤 높은 주관평가와의 상관성을 보여 주었지만, 아무 방법도 사용자가 기대하는 요구치를 충족시키지는 못했다. 따라서 모델 제안자들은 개선된 측정법을 다같이 개발하기로 합의하였다. 그 목적은 현존하는 방법보다 높은 성능의 새로운 방법을 개발하는 것이었다.

2. 협력 단계

협력 단계에서의 목적은 서로 다른 방법들 중 가장 좋은 요소를 결합해서 하나의 새로운 방법을 만드는 것이었다. 나아가서, 사용자 커뮤니티의 요청에 가장

잘 맞도록 두 가지 버전의 방법이 개발될 예정이었다. 하나는 실시간 구현에 적합한 것이고, 또 다른 하나는 높은 신뢰성을 얻기 위해서 더 많은 계산을 요구할 수 있는 것이었다. DB1과 DB2 뿐만 아니라, EIA95 데이터 집합도 모델들을 트레이닝 하기 위해서 사용할 수 있게 되었다.

새로운 방법들에 대한 확인 절차는 경쟁 단계에서와 같은 방법으로 설계되었다. 오디오 아이템들과 실험 조건은 1997년 봄에 정의되었고, 오디오 데이터 베이스는 SR, Swisscom, 그리고 BBC에서 수집했다. 주관적인 청취 실험은 Deutsche Telekom, NHK, 그리고 SR에 의해서 수행되었고, 그 결과는 SR에서 취합했다.

청취 실험 결과의 광범위한 통계분석은 Teracom과 각각의 집단에서 행해졌다. 오디오 재료들과 주관 실험 장소로부터 얻어져서 합쳐진 결과는 새로운 데이터베이스인 DB3를 형성하였다. 1997년 여름 DB3로부터 52개 아이템들이 모델 개발자들에게 공개되었다. 이 새로운 데이터를 포함하고 있는 트레이닝 집합에 적용하기 위해서 새로운 모델의 변형들이 이루어졌다.

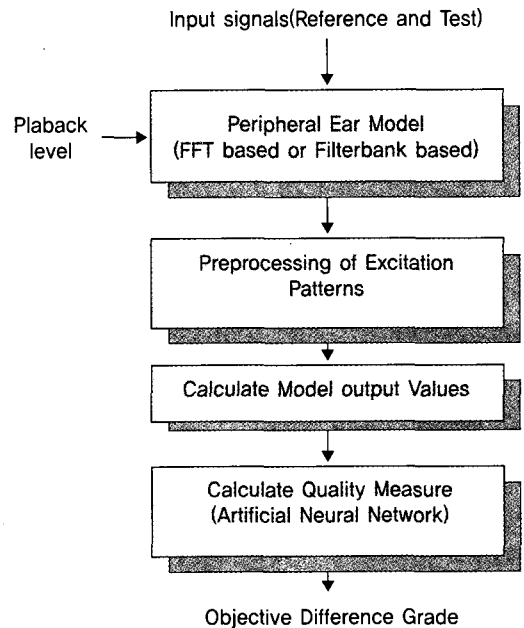
3. ITU-R Recommendation BS. 1387 PEAQ

7개의 모델들의 장점들을 합쳐서 PEAQ라는 새로운 국제 표준이 만들어졌다. PEAQ는 두 개의 신호를 비교하여 청감상 느끼게 되는 error를 산출하는 알고리즘으로, FFT와 filter bank를 이용한 귀의 모델을 포함하여, 청각기관을 통과한 소리의 물성을 추출하여, 그것을 artificial neural network를 이용하여 청감상 느끼게 되는 차이로 계산해 낸다.

PEAQ는 두 가지의 version으로 나뉘는데, FFT를 이용하여 청각기관을 모델링 한 Basic version과 FFT와 filter bank를 이용한 청각기관의 모델링을 동

시에 적용한 Advanced version이 그것이다.

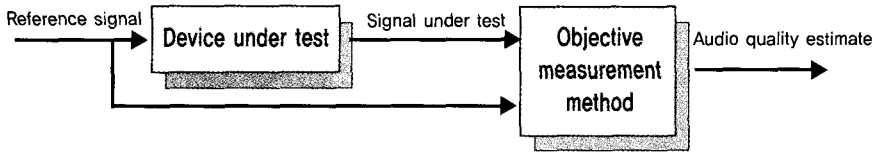
전자의 경우, 빠른 연산속도를 특징으로 하고, 후자의 경우 속도는 느리나 filter bank를 이용함으로써 가지게 되는 높은 시간 해상도(temporal resolution)를 통한 높은 정확도를 특징으로 한다. (그림 1)은 PEAQ의 개략도를 나타내며, 표1에서는 PEAQ advanced version이 계산하는 출력변수들을 나열하였다.



(그림 1) PEAQ 개략도

<표 1> PEAQ advanced version의 출력 변수들

MOV	Purpose
$RmsNoiseLoudAsym_A$	Loudness of the distortion
$RmsModDiff_A$	Changes in modulation (related to roughness)
$AvgLinDist_A$	Linear distortions (frequency response etc.)
$Segmental NMR_B$	Noise-to-mask ratio
EHS_B	Harmonic structure of the error

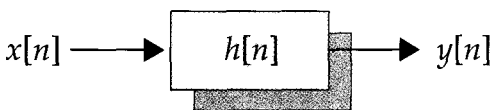


(그림 2) PEAQ를 이용한 객관적 음질평가 과정

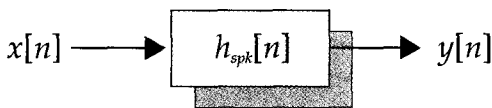
II. PEAQ를 이용한 라우드스피커 음질 평가

PEAQ를 이용한 객관적인 평가의 기본적인 개념은 (그림 2)와 같다.

이 방식은 디지털 또는 아날로그 오디오 장치에 적용 가능하다. PEAQ는 다음의 조건만 만족하는 경우면 평가 tool로서 사용이 가능하다. 첫째는 주관적인 평가의 적용 가능성, 둘째는 평가용 음원이 16kHz 이상의 wideband signal, 셋째는 reference와 test signal을 비교할 수 있는냐 하는 것이다.



(a) 오디오 시스템의 임펄스 응답



(b) 라우드스피커 시스템의 임펄스 응답
(그림 3) 오디오 시스템 블록도

오디오 재생 장치의 하드웨어적인 부분을 시스템으로 보고 해석하면 여러 가지 장점이 있다. 특히, 오디오 시스템은 대략적으로 (그림 3) (a)와 같은 선형 시불변시스템(LTI system)으로 모델링 되며, 오디오

시스템의 일부분인 라우드스피커 또한 (그림 3) (b)와 같은 LTI 시스템으로 모델링 될 수 있다.

LTI 시스템으로 모델링 된 라우드스피커의 입출력은 아래와 같은 관계를 가진다.

$$y[n] = h_{spk}[n] * x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h_{spk}[k]x[n-k] \quad (1)$$

여기서, $h_{spk}[n]$ 은 스피커의 임펄스 응답을 나타내며, N 은 임펄스 응답의 길이를 나타낸다.

PEAQ는 본질적으로 입력소스에 따라서 다른 결과가 나온다. 왜냐하면, 각각의 소스가 가지고 있는 마스킹(masking), 라우드니스(loudness) 등의 심리 음향적인 요소가 서로 다르기 때문이다. 본 논문에서 제안하는 라우드스피커의 음질 평가 방법의 기본적인 아이디어는 (그림 4) (a)와 같다. 여기서, $h_{spk}[n]$ 은 reference loudspeaker의 임펄스 응답을 나타내며, $h'_{spk}[n]$ 은 test loudspeaker의 임펄스 응답을 나타낸다. PEAQ를 사용한 라우드스피커의 음질평가 방법은 다음과 같다. 먼저 평가용 소스 $x[n]$ 을 라우드스피커 시스템 $h'_{spk}[n]$ 과 $h_{spk}[n]$ 에 통과시켜서 PEAQ의 입력으로 사용할 라우드스피커 시스템의 출력 $y'[n]$ 과 $y[n]$ 을 구한다. 그런 후에, $y'[n]$ 과 $y[n]$ 을 PEAQ의 입력으로 사용해서 각각의 ODG를 구한다. 여기서의 ODG는 평가용 소스 ($x[n]$)가 reference loudspeaker ($h_{spk}[n]$)와 test loudspeaker ($h'_{spk}[n]$)

를 통과했을 때 나오는 각각의 소리가 심리음향적으로 얼마나 가깝게 들리는 가를 나타내는 점수이다.

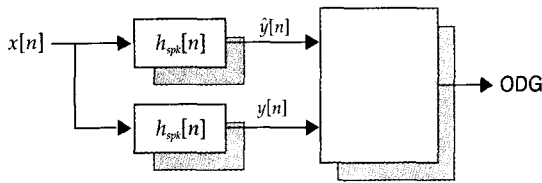
(그림 4) (a)와 같이 단일 음원을 사용하여 주관평가를 하는 것은 바람직하지 않다. 그이유는 확률적으로 보면 소비자들이 실제 오디오 제품을 사용할 때, 여러 개 장르의 음악을 듣기 때문이다. 따라서, 범용으로 사용할 오디오를 주관적으로 평가하기 위해서는 여러 개 장르의 음악을 사용해서 그 시스템을 평가해야만 한다. 단일 음원을 사용했을 때의 이러한 단점을 극복하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은

방법을 사용하였으며 개념적인 블록도는 (그림 4) (b)와 같다.

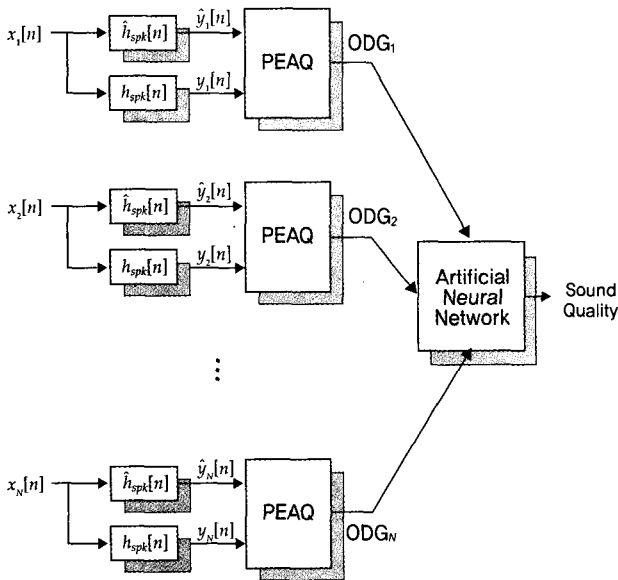
먼저 여러 개의 음원 $x_i[n](1 \leq i \leq N)$ 을 측정된 레퍼런스 라우드스피커의 임펄스 응답 $h_{spk}[n]$ 와 테스트 라우드스피커의 임펄스 응답 $\hat{h}_{spk}[n]$ 그리고 convolution을 이용하여 각각의 라우드스피커의 출력인 $y_i[n](1 \leq i \leq N)$ 과 $\hat{y}_i[n](1 \leq i \leq N)$ 을 얻는다. 그 후에 ODG 결과들을 인공 신경회로망(artificial neural network)으로 튜닝된 시스템에 통과시키고 라우드스피커의 음질을 평가한다. 이런 과정을 통해

서 최종적으로 나오는 값은 일반적인 주관평가에서 사용되는 평가용 소스 ($x_1[n], \dots, x_N[n]$) 가 레퍼런스 라우드스피커 ($h_{spk}[n]$) 와 테스트 라우드스피커 ($\hat{h}_{spk}[n]$) 를 통과했을 때 심리음향적으로 얼마나 비슷하게 들리느냐를 나타내는 점수이다.

본 연구에서 제안하는 loudspeaker의 impulse response 및 PEAQ를 사용한 객관평가 방법은 loudspeaker 설계 시 중요한 요소인 frequency response에 기반한 평가 방법과의 연계도 고려 가능하게 해 준다. 그리고 임펄스 응답을 사용하기 때문에, 실험을 하지 않고도 쉽게 디지털 도메인에서 라우드스피커 시스템을 통과한 소스를 얻을 수 있다는 점에서 이 평가방법은 장점을 가진다.



(a) 단일 음원을 사용한 경우



(b) 복수 음원을 사용한 경우

(그림 4) PEAQ를 이용한 라우드스피커 음질평가 블록도

III. 실험결과 및 분석

제안한 방법을 실제로 OPERA를 이용하여 평가를 수행하였다. Reference로는 B&W의 Nautilus 805 모델을 사용

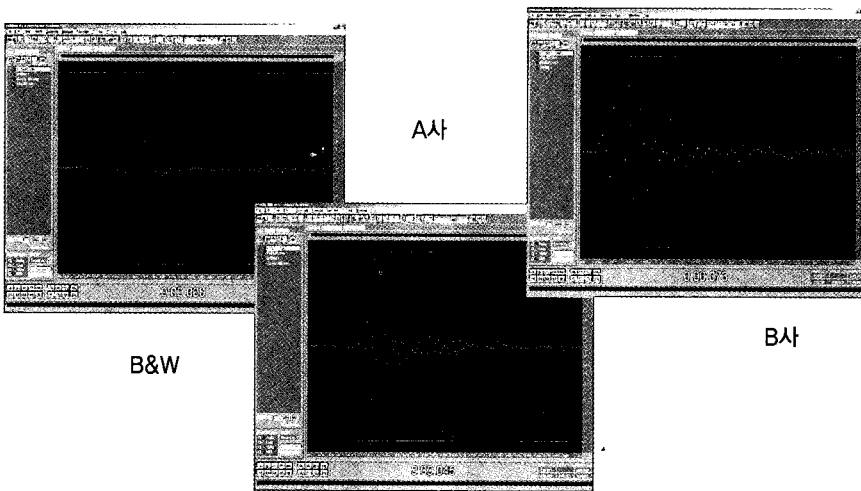
하였고, 평가용 라우드스피커로는 A사의 라우드스피커 피커와 B사의 라우드스피커를 사용하였다.

객관평가의 과정은

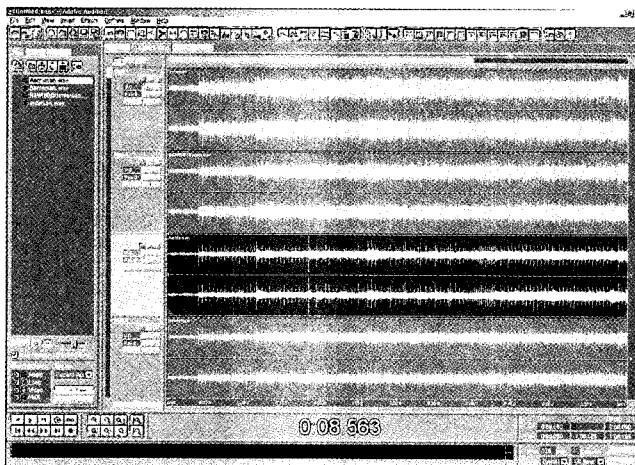
- 라우드스피커의 임펄스 응답 측정
- 평가용 음원과 임펄스 응답의 convolution
- OPERA를 이용한 PEAQ-advanced algorithm의 수행의 순으로 행해지게 된다.

임펄스 응답의 측정은 sine sweep을 이용하였으며, 이에 따라 측정된 임펄스 응답는 (그림 5)와 같다.

평가용 음원과 임펄스 응답를 convolution하여 평가용 음원이 각 라우드스피커의 재생특성을 갖게 한다. (그림 6)은 동일한 음원을 세가지 다른 라우드스피커의 임펄스 응답와 convolution한 결과를 보여준다.



(그림 5) 라우드스피커 임펄스 응답



(그림 6) 라우드스피커 임펄스 응답과 평가용 음원의 convolution 파형

1) A사의 라우드스피커 대 B&W 라우드스피커에 대한 객관평가 결과

〈표 2〉 A사의 라우드스피커 대 B&W 라우드스피커에 대한 ODG와 MOVs

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	2.74	78.01	2.19	0.93	16.12	-2.83
Dunk Shot	1.74	69.38	2.14	-1.84	29.55	-2.13
Enter Sandman	1.50	71.95	2.08	-0.14	19.08	-2.40
Drum Solo	1.86	95.27	1.05	2.05	9.340	-2.44
Zarathustra	1.14	143.40	1.76	-0.71	6.38	-2.60
Viola for a de moda	1.93	84.47	1.11	3.36	7.27	-2.51
Applause	1.08	55.80	7.99	-6.51	29.18	-0.76

(a) original result

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	0.2052	0.0301	0.1531	0.6743	1.5799	0.2715
Dunk Shot	0.1289	0.0260	0.1491	0.6022	2.9016	0.4392
Enter Sandman	0.1106	0.0272	0.1448	0.6464	1.8714	0.3741
Drum Solo	0.1380	0.0381	0.0724	0.7035	0.9128	0.3649
Zarathustra	0.0835	0.0604	0.1223	0.6314	0.6223	0.3265
Viola for a de moda	0.1433	0.0331	0.0768	0.7376	0.7097	0.3477
Applause	0.0790	0.0197	0.5611	0.4809	2.8652	0.7649

(b) normalized result

2) B사의 라우드스피커 대 B&W 라우드스피커에 대한 객관평가 결과

〈표 3〉 B사의 라우드스피커 대 B&W 라우드스피커에 대한 ODG와 MOVs

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	3.03	100.11	10.55	-4.91	2.68	-2.99
Dunk Shot	2.59	101.63	7.42	-5.48	3.21	-2.31
Enter Sandman	2.25	105.11	2.98	-4.55	2.18	-2.31
Drum Solo	2.80	101.01	2.89	-2.29	1.79	-2.74
Zarathustra	2.32	108.68	3.09	-6.58	1.69	-2.16
Viola for a de moda	2.98	103.58	2.81	-0.09	1.73	-3.06
Applause	2.44	81.11	4.48	-4.99	2.83	-1.73

(a) original results

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	0.2266	0.0403	0.7419	0.5225	0.2582	0.2355
Dunk Shot	0.1931	0.0410	0.5209	0.5075	0.3099	0.3965
Enter Sandman	0.1676	0.0426	0.2087	0.5317	0.2087	0.3975
Drum Solo	0.2097	0.0407	0.2023	0.5904	0.1701	0.2933
Zarathustra	0.1732	0.0443	0.2164	0.4791	0.1610	0.4332
Viola for a de moda	0.2232	0.0419	0.1962	0.6477	0.1649	0.2173
Applause	0.1818	0.0315	0.3141	0.5202	0.2731	0.5356

(b) normalized result

3) A사의 라우드스피커 대 B사의 라우드스피커에 대한 객관평가 결과

〈표 4〉 A사의 라우드스피커 대 B사의 라우드스피커에 대한 ODG와 MOVs

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	A -0.28	A -22.10	A -8.36	B 5.84	B 13.43	A 0.15
Dunk Shot	A -0.84	A -32.25	A -5.27	B 3.64	B 26.34	A 0.17
Enter Sandman	A -0.75	A -33.16	A -0.90	B 4.41	B 16.90	B -0.09
Drum Solo	A -0.94	A -5.74	A -1.84	B 4.35	B 7.54	A 0.3005
Zarathustra	A -1.18	B 34.71	A -1.33	B 5.86	B 4.68	B -0.44
Viola for a de moda	A -1.05	A -19.10	A -1.69	B 3.45	B 5.53	A 0.54
Applause	A -1.35	A -25.31	B 3.50	A -1.51	B 26.34	A 0.96

(a) original results

	RmsNoise LoudAsym _A	RmsModDiff	AvgLinDist _A	Segmental NMR _B	EHS _B	ODG
Spanish Harlem	A -0.0214	A -0.0103	A -0.5888	B 0.1518	B 1.3217	A 0.0360
Dunk Shot	A -0.0642	A -0.0150	A -0.3718	B 0.0947	B 2.5917	A 0.0427
Enter Sandman	A -0.0570	A -0.0154	A -0.0639	B 0.1147	B 1.6627	B -0.0234
Drum Solo	A -0.0716	A -0.0027	A -0.1299	B 0.1131	B 0.7427	A 0.0716
Zarathustra	A -0.0897	B 0.0161	A -0.0941	B 0.1524	B 0.4612	B -0.1067
Viola for a de moda	A -0.0799	A -0.0089	A -0.1194	B 0.0899	B 0.5448	A 0.1304
Applause	A -0.1028	A -0.0118	B 0.2469	A -0.0393	B 2.5920	A 0.2293

(b) normalized results

〈표 4〉에서 알 수 있듯이 전체 음질을 나타내는 ODG가 5개의 곡에서는 A사의 라우드스피커가 미세하게 우수함을 그리고 2개의 곡에서는 B사의 라우드스피커가 미세하기 우세함을 확인할 수 있었다. 그림 7은 이때의 평균 ODG를 나타내는데, A사의 라우드스피커가 B사의 라우드스피커에 비해 평균적으로 6%정도 우수함을 알 수 있다. 즉, A사의 라우드스피커에서 나오는 소리가 B사의 라우드스피커에서 나오

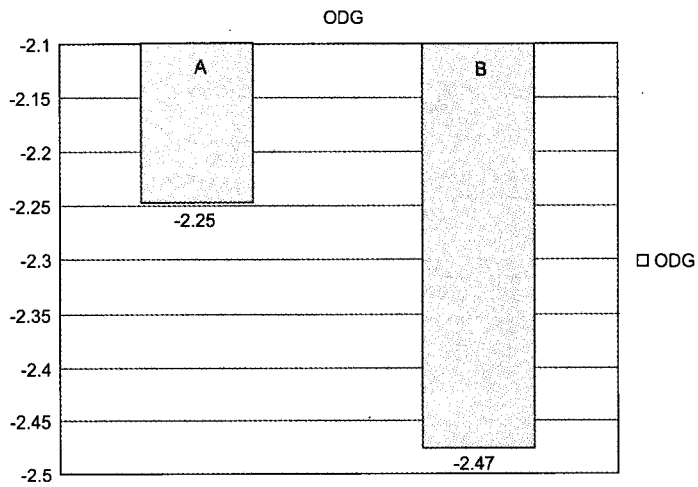
는 소리에 비해 레퍼런스 라우드스피커에 평균적으로 6% 가깝게 들린다.

IV. 결 론

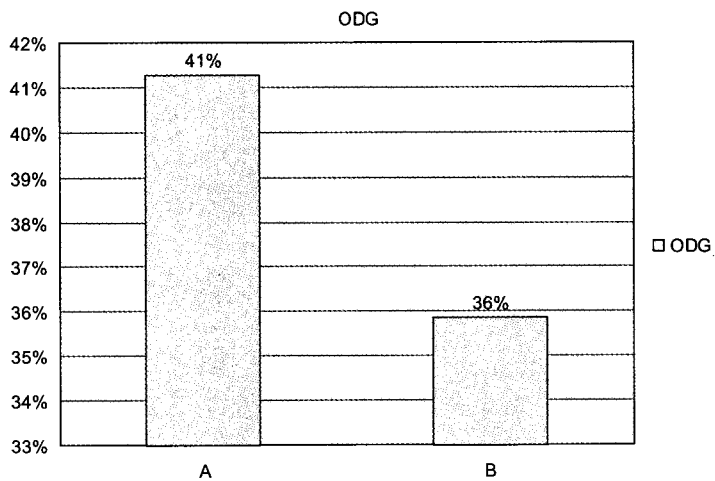
본 연구에서는 측정 데이터로부터 오디오 시스템 중 라우드스피커의 음질을 신뢰할만한 수준으로 평

가할 수 있는 기법을 제안하였다. 이것은 측정된 스피커의 임펄스 응답과 ITU-R Recommendation BS. 1387인 PEAQ를 사용하여 라우드스피커의 음질을 평가하는 방법이다. ITU-R이 수행한 주관평가에서도 확인되었지만, 제안한 객관적 평가 기법과 본 연

구와 같이 진행된 주관평가 결과를 비교해 보았을 때 평가 결과가 신뢰할 만한 수준임을 확인할 수 있었다.



(a) original results



(b) normalized results

(그림 7) A사 라우드스피커 대 B사 라우드스피커에 대한 평균 ODG

[참고 문헌]

- [1] M. Karjalainen, "A New Auditory Model for the Evaluation of Sound Quality of Audio Systems," IEEE international Conference of Acoustics, pp.608-611, 1985
- [2] K. Brandenburg, "OCF - A New Coding Algorithm for High Quality sound Signals," International Conference on Audio, Speech, and Signal Processing '87, pp.141-144, 1987 Apr.
- [3] Th. Thiede, E. Kabot, "A New Perceptual Quality Measure for Bit Rate Reduced, Audio," AES 100th Convention, 1996 May, preprint 4280
- [4] Th. Sporer, "Objective Audio Signal Evaluation - Applied Psychoacoustic for Modeling the Perceived Quality of Digital Audio," AES 103rd Convention, 1997 Sept. preprint 4512
- [5] J. G. Beerends, J. A. Stemerding, "A Perceptual Audio Quality Measure Based on a Psychoacoustic sound representation," J. Audio Eng. Soc., vol. 40, No. 12, pp.963-978, 1992 Dec.
- [6] B. Paillard, et all. "Perceval: Perceptual Evaluation of the Quality of Audio signals," J. Audio Eng. Soc., vol. 40, No. 1/2, pp.21-31, 1992 Jan./Feb.
- [7] C. Colomes, M. Lever, Y. F. Dehery, "a Perceptual Objective Measurement System (POM) for the quality Assessment of Perceptual CODECS," AES 96th convention, 1994 Feb., preprint 3801
- [8] ITU-R Rec. BS-1387, "Method for Objective Measurements of Perceived Audio Quality," International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland, 1999
- [9] T. Thiede, W. Treurniet, R. Bitto, C. Schmidmer, T. Sporer, J. Beerends, C. Colomes, M. Keyhl, G. Stoll, K. Brandenburg and B. Feiten, "PEAQ- The ITU Standard for Objective Measurement of Perceived Audio Quality," J. Audio Eng. Soc., vol. 48, pp.3-29, 2000 Jan/Feb.
- [10] ITU-R Rec. BS.1116(rev. 1), "Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound System," International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1997)



이신렬

1999년 서울대학교 전기,컴퓨터공학부 음향공학 석사

2002년 서울대학교 전기,컴퓨터공학부 음향공학 박사

현재 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 선임연구원, ㈜에어텍전자/㈜천마전자 기술 고문

관심분야 : 입체음향, 서라운드 음향, 심리음향, 오디오신호처리, 악기음향, 건축음향



최낙진

2000년 대전대학교 전자공학과 졸업 (학사)

2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업 (석사)

현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정

관심분야 : 신호처리, 수중음향, 오디오신호처리



성광모

1971년 서울대학교 전자공학과

1977년 Dipl.-Ing, Aachen, Germany (석사)

1982년 Dr.-Ing, Aachen, Germany (박사)

1983년 연구원 (RWTH, Aachen)

2001년 한국음향학회 회장

현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수, 대한전

자공학회 수석부회장

관심분야 : 악기음향, 건축음향, 수중음향, 초음파